

ANTROPIZZAZIONE COSTIERA E POSIZIONE DELLA LINEA DI RIVA: LA SPIAGGIA DI SAN LEONE (AGRIGENTO)

Salvatore Viola¹, Giorgio Manno¹, Carlo Lo Re¹, Massimiliano Monteforte¹, Giuseppe Ciraolo¹

*(1) Università degli studi di Palermo, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale dei materiali (DICAM),
Università degli studi di Palermo, Viale delle Scienze Edificio 8, 90128 Palermo.*

ASPETTI CHIAVE:

- Antropizzazione costiera e fluttuazione della linea di riva.
- Evoluzione storica della linea di riva in una spiaggia mediterranea.
- Confronto del run-up calcolato con il run-up osservato da video-monitoraggio.

1 INTRODUZIONE

Nell'ultimo secolo, il sistema costiero mediterraneo ha subito un fortissimo processo di antropizzazione che ha modificato le caratteristiche naturali e ambientali del territorio. Anche in Sicilia l'ampio sviluppo antropico lungo la fascia costiera ha contribuito alle grandi trasformazioni fisiche di quest'ambiente così "fragile", coinvolgendo soprattutto le spiagge.

Nonostante le aree costiere siano in larga parte interessate da specifici strumenti di tutela, anche a livello europeo, sono attualmente gli ambienti maggiormente minacciati. Tale effetto è stato causato negli ultimi decenni dalla mancata programmazione, pianificazione e gestione delle aree costiere e, in particolare, delle spiagge. Il risultato è una modifica delle dinamiche naturali con conseguenti disequilibri sedimentologici che possono facilmente trasformarsi in fenomeni erosivi. Le dinamiche dei litorali oltre a dipendere dalle azioni dirette e indirette, naturali e antropiche, sono strettamente connesse all'azione del mare (moto ondoso, maree, correnti superficiali e profonde, ecc.).

Il fenomeno che più sintetizza e spesso rappresenta pienamente la *criticità* dell'effetto sinergico di molte delle attività umane, è dato dalla perdita di spiaggia e dal conseguente arretramento dell'indicatore morfologico "linea di riva". La variabilità spaziale e temporale di tale indicatore, essendo strettamente legata alla tendenza evolutiva della spiaggia, è diventata oggetto di numerosi studi costieri.

In questo lavoro viene descritto un metodo di studio applicato al monitoraggio di una spiaggia dalle particolari caratteristiche dinamiche, causate proprio dal crescente sviluppo antropico avuto negli ultimi 50 anni. Il caso studio è la spiaggia di San Leone (37°15'41"N 13°35'20"E) appartenente all'Unità Fisiografica n.10 e localizzata a sud della città di Agrigento, tra le foce del fiume Akragas a NW e la foce del fiume Naro a SE (Fig. 1). Dagli anni '70 ad oggi, la spiaggia è stata oggetto di molti cambiamenti che hanno prodotto disequilibri nelle dinamiche litoranee che si sono evidenziate nel tempo attraverso avanzamenti e/o arretramenti della linea e aree ad alta criticità da erosione.

La spiaggia sabbiosa di San Leone non è un caso unico ma piuttosto rappresenta le condizioni in cui oggi si trovano diverse spiagge antropizzate, nelle quali le forti oscillazioni della linea di riva sia nel lungo (ultimi decenni) che nel breve periodo (stagionali), indicano grandi variabilità dei fenomeni fisici connessi.

2 IL METODO

Le dinamiche litoranee della spiaggia di San Leone, sono state studiate attraverso l'analisi degli spostamenti della linea di riva. Per tale studio sono state necessarie sia le immagini aeree storiche, sia le immagini registrate da un sistema di video-monitoraggio (SVM) installato proprio sulla spiaggia.

Il valore aggiunto del metodo descritto è stato quello di osservare e studiare, in modo multidisciplinare, le dinamiche della spiaggia. Tale approccio ha consentito non solo il confronto tra i risultati analitici ottenuti dalle immagini, ma anche permesso di confrontare quest'ultimi con quelli ottenuti da uno studio idraulico-marittimo. In fase preliminare oltre alla raccolta di tutti i dati disponibili comprendenti cartografie, immagini aeree, dati relativi ai parametri d'onda e al paraggio costiero, è stato necessario omogeneizzare e ordinare tutti i dati in ambiente GIS.

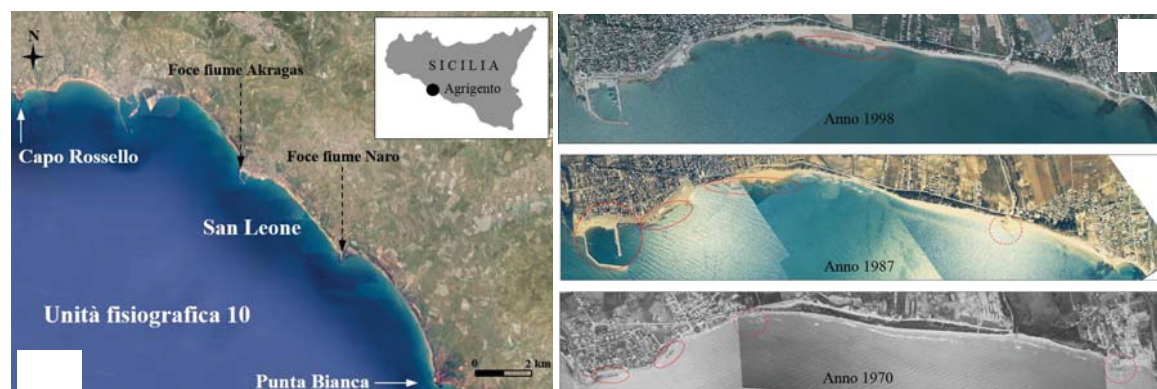


Figura 1. a) Localizzazione geografica della spiaggia di San Leone (Agrigento). b) strutture antropiche realizzate nel periodo compreso tra il 1970 e il 1998.

Per comprendere le dinamiche attuali e conoscere le pericolosità connesse, è stata ricostruita l'evoluzione storica della spiaggia attraverso l'analisi diacronica della posizione della linea di riva. L'analisi è stata realizzata con un'estensione di ESRI ArcGIS, v.10 nota come DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*, realizzata dalla U.S. Geological Survey) (Thieler et al., 1994, 1996). L'analisi ha riguardato un intervallo di tempo compreso tra il 1970 e il 2013 (36 anni). Il confronto di queste immagini ha consentito anche la ricostruzione storica delle strutture costiere realizzate (Fig. 1).

Per ciascun anno, rappresentato da una differente immagine aerea, è stata quindi localizzata la linea di riva, utilizzando come indicatore la linea *wet/dry* (Manno et al., 2014). Una volta ricostruite le modifiche morfologiche della spiaggia, sono stati analizzati i dati registrati da un impianto di video-monitoraggio (Fig. 2), installato proprio in una zona particolarmente critica, nella quale sono stati riscontrati i maggiori arretramenti della linea di riva. Tale impianto è installato a San Leone ed è in grado di riprendere un tratto di costa di 150 m, sottoposto a forti oscillazioni della linea di riva. La stazione di ripresa è costituita da due unità di acquisizione (fotocamere reflex) ed elaborazione di immagini poste a 15 m di altezza, in modo da poter ricavare immagini dettagliate e leggibili per tutto il tratto interessato al monitoraggio. Il sistema di video-monitoraggio è stato installato e collaudato nei giorni 19 e 20 Dicembre 2014 e si localizza su un palo della strada litoranea vicino il lido balneare "Oceano Mare".

L'analisi delle immagini registrate da tale impianto ha permesso l'individuazione delle mareggiate più "significative" avvenute nel periodo invernale del 2015. Note le date e gli orari di ogni immagine, sono stati quindi identificati per ogni mareggiata i relativi parametri d'onda a largo. Tali parametri sono stati estratti dal dataset di rianalisi del progetto ERA-Interim dell'European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).

I parametri d'onda a largo per ogni mareggiata sono stati utilizzati per lo studio idraulico necessario alla stima del *run-up*. La propagazione delle onde da acque profonde ad acque basse è stata ottenuta per mezzo del modello spettrale Delft3D prodotto dalla Deltares (NL). Per l'uso di questo modello, è stata realizzata appositamente una griglia di calcolo con maglie quadrilatera a dimensione variabile (area totale della griglia 10.000 m²), per garantire maggiore dettaglio di calcolo nella zona vicina alla linea di riva.

Ottenute l'altezza d'onda significativa, il periodo di picco e la direzione media di propagazione in acque basse, è stato possibile calcolare e confrontare il *run-up* (Manno et al., 2014) sia con la nota formula di Nielsen e Hanslow (1991) sia attraverso un modello numerico alla Boussinesq (Lo Re et al., 2012). I *run-up* così calcolati sono stati infine confrontati con quelli stimati qualitativamente dall'analisi delle immagini istantanee acquisite dal sistema di video-monitoraggio. Per ricostruire le variazioni lineari ed areali, della spiaggia di San Leone avvenute durante diverse mareggiate, è stato realizzato un modello di analisi vettoriale su base informatizzata in ambito GIS che ha previsto l'utilizzo di immagini ad alta risoluzione. L'elaborazione dei dati è stata eseguita grazie al software Erdas, che ha eseguito una correzione polinomiale del primo ordine degli errori, consentendo una perfetta coincidenza delle immagini, scattate in istanti diversi. Le immagini geo-riferite sono state sovrapposte in ambiente GIS e per ognuna di esse è stata individuata (limite *wet/dry*) e disegnata la corrispondente linea di riva. In questo modo sono state ottenute diverse linee, ognuna delle quali riferita al giorno e all'ora dell'acquisizione dell'immagine (Fig. 3).



Figura 2. a) localizzazione del sistema di video-monitoraggio installato su un palo dell'illuminazione vicino al lido Oceano Mare; b) immagine istantanea acquisita da una delle due fotocamere SVM il 16 febbraio 2015 alle ore 16.28.

La sovrapposizione delle immagini e, dunque, delle diverse linee di riva ha permesso il riconoscimento e la stima della fluttuazione della linea di riva. La stima degli arretramenti e/o avanzamenti è stata eseguita prendendo in considerazione una linea di riferimento (*baseline*) e dei transetti ortogonali ad essa, disposti tra loro parallelamente ed a distanza costante.

Una volta stimate le fluttuazioni della linea di riva per ogni mareggiata, è stato possibile confrontarle con i valori calcolati di *run-up*.



Figura 3. Differenti linee di riva digitalizzate in condizioni di mareggiata. L'immagine sulla quale sono mostrate le linee di riva è stata ripresa il 15 febbraio 2015 ed è stata assunta come rappresentativa di "condizioni di mare calmo".

3 CONCLUSIONI

La spiaggia di San Leone è una delle tante spiagge siciliane bagnate dal Mar Mediterraneo che, avendo subito una forte pressione antropica, ha modificato le proprie dinamiche costiere.

L'evoluzione della spiaggia è stata fortemente controllata dalle strutture marittime realizzate nel corso degli anni. Infatti dal 1970 ad oggi la realizzazione della struttura portuale e delle successive opere realizzate a protezione della spiaggia, hanno mutato gli equilibri sedimentari e di conseguenza la morfologia della spiaggia.

L'analisi storica della linea di riva svolta con le immagini aeree, ha evidenziato alcune zone della spiaggia con forti arretramenti, anche dell'ordine di 8 m/anno, producendo una considerevole perdita di sedimento e dunque di arenile disponibile per scopi turistici e ricreativi. Anche gli apparati dunali, naturali serbatoi di sedimento, subendo la forte pressione antropica, sono stati ridotti al punto che in alcuni tratti sono del tutto assenti e non possono più svolgere la loro funzione di ripascimento naturale.

L'analisi delle immagini riprese dal sistema di video monitoraggio ha permesso di individuare e stimare gli spostamenti della linea di riva relativi alle mareggiate invernali del 2015. Il confronto di tutte le linee di riva digitalizzate dalle immagini SVM, ha permesso di riscontrare forti fluttuazioni corrispondenti all'evento della mareggiata e minori fluttuazioni nei momenti pre-mareggiata.

Il *run-up* calcolato sia con la formula empirica che con il modello alla Boussinesq ha fornito valori di risalita d'onda da mareggiata mediamente di 5.45 m. Il confronto tra i valori di *run-up* calcolati con lo studio idraulico e quelli qualitativi ottenuti dalle immagini, ha mostrato una buona corrispondenza. In particolare, sono stati confrontati i valori medi qualitativi della fluttuazione percentuale della linea di riva, con i valori numerici del *run-up*, ed è stato trovato un coefficiente di determinazione r^2 compresi tra 0.26 e 0.53.

Il lavoro potrà essere sviluppato con ulteriori ricerche indirizzate all'ortorettifica delle immagini e dei relativi rilievi topografici da eseguire per minimizzare gli errori geometrici.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Lo Re, C., Musumeci, R.E., Foti, 2012. A shoreline boundary condition for a highly nonlinear Boussinesq model for breaking waves, *Coastal Engineering*, 1(32), 41-52.
- Manno G., Lo Re C., Monteforte M., Ferreri G.B., 2012. Confronto fra valutazioni del *run-up* fatte con un modello matematico e una formula empirica con misure di campo. Atti del XXXIII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Brescia, 10-14 settembre (ISBN 978-88-97181-18-7).
- Manno, G., Ciraolo, G., Lo Re, C., Monteforte M., Ferreri G.B., 2014. Analisi diacronica della linea di riva del litorale agrigentino (San Leone). In atti del convegno Giornate di Studio AIOM - La modellistica a supporto dell'Ingegneria marittima, Palermo, 7-8 novembre.
- Nielsen, P., Hanslow, D.J., 1991. Wave run-up distributions on natural beaches. In *Journal of Coastal Research*, Vol. 7, pp. 1139-1152.
- Thieler, E.R., Danforth, W.W., 1994. Historical shoreline mapping (I): Improving techniques and reducing positioning errors. In *Journal of Coastal Research*, 10(3), pp. 549-563.
- Thieler, E.R., Danforth, W.W., 1994. Historical shoreline mapping (II): Applications of the Digital Shoreline Mapping and Analysis Systems (DSMS/DSAS) to shoreline change mapping in Puerto Rico. In *Journal of Coastal Research*, 10(3), 600-620.